

Барьерно-контактная функция определяет способность пограничной зоны-полосы ослаблять, задерживать и прекращать перемещение потоков вещества, энергии и информации между граничащими геосистемами.

Конечно, конкретные болотные системы характеризуются определенными структурами, т.е. количеством, типом, характеристиками и взаимным расположением входящих в нее водных объектов, мезо- и микроландшафтов, но использование в качестве аналогов предыдущей истории развития натурализуемого объекта (системы) делает эту особенность не существенной.

Не менее важным фактором для исследуемых систем является и их гидрологическая эквивалентность, определяемая неизменяемостью внешнего и внутреннего водообмена. С точки зрения точности результатов, полученных с помощью методов аналогии, следует дополнительно учесть изменения

физических характеристик как деятельного, так и инертного слоев торфяной залежи за счет мелиорации и освоения, но они общеизвестны.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бакарасов В.А. Функции границ при геоэкологическом проектировании природно-геотехнических геосистем. Природные ресурсы. – Минск.: НАН РБ, №2, 1997, с. 109-113.
2. Иванов К.Е. Водообмен в болотных ландшафтах. – Л.: Гидрометеиздат, 1975 – 280с.
3. Шведовский П.В., Поляков М.И., Байко А.П. Рекультивация земель и охрана природы. – Минск.: Ураджай, 1987–176с.

УДК 626.134

**Калинин М. Ю., Валентейчик В.В.**

## МОДЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОЛЬМАТАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

С помощью режимных наблюдений и опытных откачек невозможно расчленить действия кольматажа, заилиения и несовершенства вреза в водоносные горизонты на взаимосвязь подземных и поверхностных вод (ВПВ). Поэтому, в полевых условиях, при теоретических расчетах влияние этих факторов изучают в совокупности. В то же время, расчленение перечисленных факторов и их исследование представляют теоретический и практический интерес. Ниже изложены результаты исследования влияний различной степени кольматации поверхностных водных объектов (рек, каналов, водохранилищ) на взаимодействие подземного и поверхностного потоков, которые можно использовать, в частности, для оценки фильтрационных потерь из поверхностных водных объектов в подземные. Подробное описание эксперимента дано в работе [1].

При этом, исследовалось влияние закольматированности ложа поверхностных источников на разгрузку в них подземных вод. В экспериментах оценивалось влияние кольматации как отдельных элементов (дна, бортов), так и русла, в целом, при различном соотношении коэффициента фильтрации водоносного ( $k$ ) и закольматированного ( $k_o$ ) слоя. При моделировании принималось, что кольматация уже закончилась и на фильтрующей поверхности образовался слабопроницаемый слой мощностью ( $m_o$ ) и степенью кольматации ( $\bar{K} = k / k_o$ ). Затем, исследовалось влияние различных схем кольматации ложа поверхностных водотоков и водоемов на гидродинамический параметр ( $\Delta L$ ). Учитывая, что ширина средних и малых рек ( $2b$ ) равна или меньше мощности водоносного горизонта ( $M$ ), опыты проводились на моделях из электропроводной бумаги, для отношений ширины реки к мощности водоносного горизонта ( $\bar{B} = 2b/M$ ) от 0,25 до 1,0. Степень кольматации имитировалась дискретными переменными электрических сопротивлений ( $R_d^K$ ) и ( $R_b^K$ ), которые рассчитываются как

$$R^K = L_R \frac{m_o}{K_o \cdot \Delta X}, \quad (1)$$

где  $\Delta X$  - участок закольматированного слоя, моделируемый сопротивлением ( $R^K$ );  $L_R$  - масштабный коэффициент для перевода фильтрационного сопротивления в электрическое.

Степень кольматации русла реки ( $\bar{K}$ ) принималась от 10 до 104. Удаление от реки контура с постоянным напором выбрано равным трем мощностям водоносного горизонта ( $L = 3M$ ). Степень несовершенства реки по вскрытию водоносного горизонта ( $\xi = h / M$ ) принималась от 0,05 до 1,0, где ( $h$ ) - глубина реки. В опытах изучалась сила электрического тока, проходившего в целом через модель и через сопротивления ( $R_d^K$ ) и ( $R_b^K$ ). Строились гидродинамические сетки движения подземных вод. По данным измерений рассчитывались составные части расхода подземных вод, дренируемых поверхностным водотоком, и строились графики изменения дренирующей способности реки в зависимости от степени кольматации дна, бортов или всего русла, а также зависимости влияния отношений ( $h/M$ ) и ( $k/k_o$ ) на гидродинамический параметр ( $\Delta L$ ).

Результаты более 600 опытов представлены в относительной (критериальной) форме в виде графиков, по которым легко установить влияние различной степени кольматации того или иного элемента русла на условия разгрузки подземных вод в поверхностные источники при различной степени их несовершенства и ширине.

Изучение влияния кольматации дна русла на ее дренирующую способность показало, что при различной ширине реки ( $\bar{B} = 2b/M = 1; 0,5; 0,25$ ) наблюдается практически одна и та же закономерность - с уменьшением проницаемости закольматированного слоя увеличивается роль бортов реки. Причем чем шире река, тем меньше одна и та же степень кольматации грунтов сказывается на разгрузке подземных вод через дно. С увеличением врезки русла реки в водоносный горизонт доля подземных вод, разгружающихся через дно, уменьшается.

При ( $\xi = 0,1$ ) и ( $\bar{K} = 1$ ) отношение ( $Q_d / Q$ ) равно 59 %. С увеличением глубины реки ( $\xi = 0,7$ ) доля подземных вод,

**Калинин Михаил Юрьевич.** Зам. директора по научной работе.

**Валентейчик Виталий Владимирович.** Старший научный сотрудник.

Институт проблем использования природных ресурсов и экологии НАНБ. Беларусь, г. Минск.

Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, экология

поступающих через дно, уменьшиться до 17 %.

При исследовании *кольматации одного из бортов* русла установлено, что такая схема кольматации при любой ширине реки оказывает меньшее влияние на сокращение общего расхода грунтового потока в реку, чем кольматация дна при ( $\xi \leq 0,2$ ). Начиная с ( $\xi > 0,2$ ) кольматация одного из бортов сказывается на разгрузке подземных вод в реки больше, чем кольматация только одного дна. С уменьшением ширины реки при одной и той же степени несовершенства ( $\xi$ ) дренажная роль ее бортов возрастает. Опыты показали: если при небольшой врезке реки в водоносный горизонт, поступающий через незакольматированный борт (при любой степени кольматации противоположного борта) расход остается неизменным, то с уменьшением ширины реки и увеличением ее глубины доля воды, разгружающейся через незакольматированный борт увеличивается и достигает 50 %, например, при ( $\bar{K} = 10^4$ ), ( $\xi = 0,7$ ) и ( $\bar{B} = 0,25$ ). При степени кольматации ( $\bar{K} = 10^3$ ) расход, поступающий через закольматированный борт, составляет менее 5 %, поэтому, его влиянием можно пренебречь. В неглубоких реках ( $\xi = 0,05-0,01$ ) даже полная кольматация одного из бортов несущественно сказывается на дренажной способности реки. С увеличением степени кольматации одного из бортов, происходит стабилизация разгрузки подземных вод через дно реки и ее незакольматированный борт.

При исследовании *кольматации обоих бортов* произведено сравнение результатов опытов, проведенных с одним и двумя закольматированными бортами. При этом, отмечена одинаковая закономерность уменьшения расхода подземных вод, поступающих через борта. Отношение расхода, поступающего через закольматированный борт ( $Q_B^K$ ), к общему расходу ( $Q$ ) остается практически постоянным. Однако, здесь существует и некоторая особенность.

Как и следовало ожидать, одновременная кольматация двух бортов увеличила долю подземных вод, поступающих в реку через дно ( $Q_d/Q$ ). При небольшой глубине реки ( $\xi = 0,05-0,1$ ) и степени кольматации ( $\bar{K} \geq 10^2$ ), в реку через дно поступает уже порядка 90-99 % всех дренируемых вод, а не 68-78 %, как это было при кольматации одного борта. Для более глубоких рек ( $\xi = 0,5$ ) эта же степень кольматации обеспечивает поступление грунтовых вод через дно до 60-75 % от общего их количества. Когда же степень кольматации бортов достигает ( $\bar{K} \geq 10^3$ ), при любой степени несовершенства реки, через ее дно поступает более 92% общего подземного расхода. Влияние кольматации бортов на сокращение общего подземного питания реки начинает сказываться уже при несовершенстве реки ( $\xi = 0,1$ ) и увеличивается по мере роста отношения ( $h/M$ ), т.е. с увеличением глубины реки.

При *кольматации всего русла* рек, т.е. в предположении одинаковой степени закольматированности дна и бортов *происходит следующее*. В широких реках, отличающихся значительной степенью несовершенства ( $\xi = 0,05$ ) роль бортов в дренажной способности реки небольшая и составляет 12 %, при ( $\bar{K} = 1$  и 2 %;  $\bar{K} = 10$ ). По мере уменьшения отношения ширины реки к мощности водоносного горизонта роль бортов увеличивается. Причем, если ширина реки соответствует мощности водоносного горизонта ( $\bar{B} = 1$ ) изменение в отношении ( $Q_B/Q$ ) происходит плавно, при увеличении ( $\bar{K}$

от 1 до 10). С уменьшением ширины реки ( $\bar{B} = 0,5-0,25$ ), при увеличении степени кольматации всего русла происходит резкое сокращение доли подземных вод, поступающих через борт. Аналогичная закономерность, но в сторону увеличения, наблюдается в отношении расходов, дренируемых дном реки. Резкие изменения в соотношениях ( $Q_B/Q$ ) и ( $Q_d/Q$ ) происходят при небольшой степени несовершенства русла ( $\xi = 0,05-0,1$ ). Начиная с ( $\xi \geq 0,3$ ), эти изменения более плавные, при ( $\bar{B} = 1$ ) и, практически постоянные, при ( $\bar{B} = 0,5-0,25$ ). Установлено, что с уменьшением ширины реки влияние кольматации на сокращение расходов увеличивается. Например, если для ( $\bar{B} = 1$ ), при степени кольматации русла ( $\bar{K} = 10^2$ ) и несовершенстве реки ( $\xi = 0,05$ ), отношение ( $Q^K/Q$ ) равно 80 %, то для ( $\bar{B} = 0,5$ ) эта величина уменьшается до 70 %, а при ( $\bar{B} = 0,25$ ) - до 56 %.

При степени кольматации ( $\bar{K} = 5 \cdot 10^3$ ), русло реки принимает уже не более 15 % того количества подземных вод, которое могло бы поступать в него без кольматации. При несовершенстве реки ( $\xi = 0,7$ ), степень кольматации ( $\bar{K} = 10^2$ ) вызывает уменьшение общего подземного притока в реку на 35% - при ( $\bar{B} = 1$ ), на 46% - при ( $\bar{B} = 0,5$ ) и на 56% - при ( $\bar{B} = 0,25$ ). С увеличением степени кольматации уменьшается влияние несовершенства реки по вскрытию водоносного горизонта на общий приток подземных вод. При степени кольматации ( $\bar{K} = 10$ ) разница в значениях ( $Q_{HEC}^K/Q_{сов}$ ), при ( $\xi = 0,005-0,7$ ), составляет 27%, а с увеличением ( $\bar{K}$  до  $5 \cdot 10^3$ ) - этот разброс составляет около 12%. При ( $\bar{K} \geq 10^4$ ), влиянием степени несовершенства реки по врезу можно пренебречь, т.е. основную роль здесь играют не глубина и ширина реки, а степень кольматации русла.

Как показано выше, условия ВППВ могут быть охарактеризованы гидродинамическим параметром ( $\Delta L$ ), на который в различной степени оказывает влияние кольматация русла. В связи с этим, было изучено влияние различных схем и степени кольматации русла реки на параметр ( $\Delta L$ ). Для определения ( $\Delta L$ ) использована зависимость

$$\Delta L = T \frac{\Delta H}{Q} \cdot L, \quad (2)$$

где  $T = k \cdot M$  - водопроводимость пласта;  $Q$  - погонный приток подземных вод при разнице напоров на границе и в реке ( $\Delta H$ );  $L = 3M$  - расстояние до границы с постоянным напором.

Параметры ( $T$ ,  $\Delta H$ ,  $L$ ) - являются постоянными, поэтому, при одной и той же степени несовершенства русла реки, на параметр ( $\Delta L$ ) будет оказывать влияние только различная степень кольматации русла реки ( $\bar{K}$ ). Таким образом, определяя на модели величину ( $Q$ ) и подставляя ее значение в формулу, легко найти ( $\Delta L$ ). Исследования позволили установить одинаковый характер изменения ( $\bar{Q} = Q_{HEC}^K/Q_{сов}$ ) в зависимости от ( $\Delta L = \Delta \bar{L}/\bar{M}$ ) при разных соотношениях ширины реки к мощности водоносного горизонта, а также влияние различной степени кольматации ( $\bar{K}$ ) на величину расходов. Установлено, что полная кольматация ( $\bar{K} \rightarrow \infty$ ) какого-либо элемента русла (дна или бортов) оказывает

меньше влияния на параметр ( $\Delta L$ ), чем частичная (даже незначительная) кольматация всего русла.

Изучение влияния степени кольматации при разных ( $\bar{K}$ ) показывает, что экспериментальные точки располагаются на одной кривой, аппроксимирующейся уравнением

$$\Delta L = \frac{M(1-\bar{Q})}{0,28\bar{Q} + 0,017}, \quad \bar{Q} = Q_{HEC}^K / Q_{COB}, \quad 0 < \bar{Q} < 1, \quad (3)$$

где  $Q_{HEC}^K$  и  $Q_{COB}$  - расход подземных вод, поступающий, соответственно, в несовершенную закольматированную и совершенную незакольматированную реку.

Следовательно, для определения ( $\Delta L$ ) необходимо знать только мощность водоносного горизонта ( $M$ ) и расходы ( $Q_{HEC}^K$ ) и ( $Q_{COB}$ ). Расход ( $Q_{HEC}^K$ ) можно определить двумя способами. Первым - по формуле Дюпюи, используя данные по уровням подземных вод по двум скважинам на противоположных берегах. Вторым - по материалам натурных гидрометрических замеров по двум створам реки. Расход ( $Q_{COB}$ ) можно рассчитать по формуле Дюпюи, полагая, что уровни воды в реке и в наблюдательной скважине остаются прежними, а сама река полностью прорезает водоносный пласт до водоупора. Подставив ( $Q_{HEC}^K / Q_{COB}$ ) в выражение (3), получим параметр ( $\Delta L$ ), который суммарно учитывает все факторы, влияющие на ВППВ на данный момент времени.

В предлагаемом способе нет необходимости в определении ширины реки, мощности и коэффициента фильтрации слабопроницаемых подрусловых отложений. На наш взгляд, выражение (3) можно использовать для локальных участков (при оценке эксплуатационных запасов подземных вод, расчете водопритоков в горные выработки и т.д.), а также при определении ( $\Delta L$ ) для региональных задач. При проведении региональных работ, связанных с учетом ВППВ на больших территориях, необходимо знать величину ( $\Delta L$ ) вдоль всей реки. Как правило, такие данные отсутствуют, так как применение существующих способов оценки взаимосвязи (режимные наблюдения, опытные кустовые откачки и т.п.) не позволяет охарактеризовать долину в целом по ( $\Delta L$ ). Это связано с высокой стоимостью работ и невозможностью их использования в полном объеме. Охарактеризовать ( $\Delta L$ ) для больших участков реки можно, используя выражение (3), в котором гидродинамический параметр определяется на основе материалов гидрометрических работ, сведений о средней мощности водоносного горизонта и уклонах подземного потока к реке.

Аппроксимация критериальных зависимостей ВППВ выполнена Валентейчиком В.В. с использованием программа Origin 4.0 и результатов моделирования. Применяемый в ней метод нелинейной регрессии, основан на широко распространенном варианте метода наименьших квадратов для нелинейной аппроксимации - алгоритме Левенберга-Марквардта. Первоначально, для выбора класса наиболее подходящих математических кривых, рассматривались зависимости влияния отдельно кольматации дна и обоих бортов на дренирующую способность русла реки.

При выборе класса кривых учитывались: общий характер кривой; возможность выполнения граничных условий, при ( $\bar{K}=1$ ) и ( $\bar{K}$ ), стремящемся к бесконечности, а также других условий - при степени несовершенства русла ( $\xi$ ), стремящемся к (0) и равному (1); монотонность изменения значений параметров формул, как функций ( $\xi$ ) для всего семейства кривых, при одинаковой ширине реки; возможность интерпретации физического смысла значений параметров.

Из стандартных математических кривых наиболее подходящими оказались для линейного масштаба степени кольматации ( $\bar{K}$ ) - логистическая кривая и ее аналог; для логарифмического масштаба - кривая Больцмана с аналитическим выражением

$$y = \frac{A_1 - A_2}{1 + e^{(x-x_0)/d}}. \quad (4)$$

Применение логарифмического масштаба является более предпочтительным, так как позволяет лучше учитывать изменения значений относительного расхода воды на всем диапазоне изменения ( $\bar{K}$ ). Вычислительный эксперимент с подбором значений параметров кривой Больцмана (для случая кольматации дна) показал хорошее приближение теоретических значений к результатам моделирования, однако, немонотонность и неинтерпретируемость значений параметров заставили искать более подходящий вид кривой с таким же, как и у кривой Больцмана, экспоненциальным ростом значения знаменателя выражения. Оказалось, что требуемого характера кривых можно добиться, если предположить, что расход через закольматированное дно реки пропорционален выражению

$$\frac{Q(\xi)}{1 + r(\xi)(\bar{K})}, \quad (5)$$

где  $Q(\xi)$  - расход через незакольматированное дно;  $r(\xi)$  - коэффициент, отражающий влияние дополнительного сопротивления, вызванного кольматацией дна;  $\phi(\bar{K})$  - функция, отражающая экспоненциальный рост сопротивления дна при кольматации.

В качестве функции ( $\phi$ ), удовлетворяющей начальным условиям, можно выбрать гиперболический синус ( $sh(c \cdot \ln(\bar{K}))$ ). Здесь ( $c$ ) - показатель интенсивности роста сопротивления при кольматации. Допустимость подобных предположений подтвердилась после пробных вычислительных экспериментов для расхода через закольматированные борта реки.

**Эмпирические формулы для аппроксимации зависимостей.**

Введя обозначения  $D(\xi)$ , для отношения расхода через один незакольматированный борт к расходу через незакольматированное дно и обозначение ( $x = \ln(\bar{K})$ ), присвоив везде индекс (0) параметрам формул для дна реки и индекс (1) параметрам для бортов, после несложных преобразований, можно получить следующий ряд эмпирических формул.

*Кольматация дна реки:*

доля расхода, поступающего через закольматированное дно

$$\frac{Q_0}{Q} = \frac{1}{1 + 2D(\xi)(1 + r_0(\xi)sh(c_0 x))}; \quad (6)$$

доля расхода, поступающего через незакольматированный борт

$$\frac{Q_0}{Q} = \frac{1 + r_0(\xi)sh(c_0 x)}{1 / D(\xi) + 2(1 + r_0(\xi)sh(c_0 x))}. \quad (7)$$

*Кольматация одного из бортов реки:*

доля расхода, поступающего через закольматированное дно

$$\frac{Q_0}{Q} = \frac{1 + r_1(\xi)sh(c_1 x)}{D(\xi) + (1 + D(\xi))(1 + r_1(\xi)sh(c_1 x))}; \quad (8)$$

доля расхода, поступающего через закольматированный борт

Таблица 1.

Значения искомых параметров при кольматации дна реки						
$\xi$	$B=1$		$B=0,5$		$B=0,25$	
	$D(\xi)$	$r_0(\xi)$	$D(\xi)$	$r_0(\xi)$	$D(\xi)$	$r_0(\xi)$
0,7	2,32859	0,05026	2,36486	0,14928	3,16823	0,22159
0,5	1,02941	0,06076	1,37659	0,08613	1,80576	0,11055
0,3	0,67516	0,08146	0,96797	0,06842	1,28209	0,09512
0,2	0,54438	0,0853	0,6718	0,05349	0,93381	0,0634
0,1	0,36909	0,06328	0,47736	0,04771	0,56372	0,0503
0,05	0,24199	0,05559	0,39052	0,03725	0,042864	0,03946
$\chi^2$	0,00005		0,00005		0,00005	

Таблица 2.

Значения искомых параметров при кольматации одного из бортов реки						
$\xi$	$B=1$		$B=0,5$		$B=0,25$	
	$D(\xi)$	$r_l(\xi)$	$D(\xi)$	$r_l(\xi)$	$D(\xi)$	$r_l(\xi)$
0,7	2,83646	0,0243	2,37055	0,03135	2,60092	0,02216
0,5	1,25436	0,02975	1,21295	0,03191	1,5841	0,02253
0,3	0,62549	0,03546	0,63684	0,04616	0,98643	0,02994
0,2	0,46572	0,04857	0,45726	0,07786	0,78459	0,04298
0,1	0,24877	0,08	0,31567	0,15132	0,4691	0,06551
0,05	0,13649	0,17977	0,22014	0,35139	0,27971	0,09634
$\chi^2$	0,00002		0,00006			

Таблица 3.

Значения искомых параметров при кольматации обоих бортов реки						
$\xi$	$B=1$		$B=0,5$		$B=0,25$	
	$D(\xi)$	$r_l(\xi)$	$D(\xi)$	$r_l(\xi)$	$D(\xi)$	$r_l(\xi)$
0,7	2,3728	0,06181	2,22415	0,08301	2,58776	0,08693
0,5	1,04262	0,03854	1,20723	0,05832	1,65094	0,06732
0,3	0,56266	0,04836	0,80053	0,07055	1,09731	0,05793
0,2	0,42647	0,05252	0,62462	0,07539	0,86862	0,06379
0,1	0,25697	0,18999	0,34535	0,12896	0,47364	0,12203
0,05	0,16283	0,2866	0,26549	0,27149	0,30338	0,20094
$\chi^2$	0,00018		0,00007		0,00004	

Таблица 4.

Значения искомых параметров при кольматации всего русла реки						
$\xi$	$B=1$			$B=0,5$		
	$D(\xi)$	$r_0(\xi)$	$r_l(\xi)$	$D(\xi)$	$r_0(\xi)$	$r_l(\xi)$
0,7	2,14274	0,01768	0,05651	2,13563	0,71697	0,95935
0,5	1,15846	0,02807	0,06559	1,25966	0,58892	0,72979
0,3	0,65198	0,02047	0,04499	0,8569	0,49008	0,66451
0,2	0,46706	0,02754	0,06705	0,61002	0,3085	0,48181
0,1	0,27412	0,02681	0,08056	0,40658	0,28813	0,59663
0,05	0,14668	0,01341	0,08687	0,26557	0,23293	0,62011
$\chi^2$	0,00002			0,00008		

$$\frac{Q_0}{Q} = \frac{1}{1 + (1/D(\xi) + 1)(1 + r_l(\xi)sh(c_1x))}. \quad (9)$$

Кольматация обоих бортов реки:

доля расхода, поступающего через незакольматированное дно

$$\frac{Q_0}{Q} = \frac{1 + r_l(\xi)sh(c_1x)}{2D(\xi) + 1 + r_l(\xi)sh(c_1x)}; \quad (10)$$

доля расхода, поступающего через закольматированный борт

$$\frac{Q_0}{Q} = \frac{1}{2 + (1/D(\xi))(1 + r_l(\xi)sh(c_1x))}. \quad (11)$$

Кольматация всего русла реки:

доля расхода, поступающего через закольматированное дно

$$\frac{Q_0}{Q} = \frac{1}{1 + 2D(\xi) \frac{1 + r_0(\xi)sh(c_0x)}{1 + r_l(\xi)sh(c_1x)}}; \quad (12)$$

доля расхода, поступающего через закольматированный борт

$$\frac{Q_0}{Q} = \frac{1}{\frac{1}{D(\xi)} + \frac{1 + r_l(\xi)sh(c_1x)}{1 + r_0(\xi)sh(c_0x)}}. \quad (13)$$

Изменение притока подземных вод: при различной степени кольматации русла

$$\frac{Q_K}{Q} = \frac{1}{1 + r_0(\xi)sh(c_0x)} + \frac{2D(\xi)}{1 + r_l(\xi)sh(c_1x)}. \quad (14)$$

**Определение значений параметров формул**

Поиск значений параметров эмпирических функций в зависимостях (6...14) осуществляется в два этапа. На первом этапе, при помощи Origin 40, определяются значения параметров для каждой из установленных кривых с собственными значениями показателей интенсивности роста сопротивлений ( $c_1$ ) и ( $c_2$ ). Для ускорения сходимости процессов приближений, начальные приближения значений параметров ( $D_n(\xi)$ ) определяются по формуле

$$D_n(\xi) = \frac{1 - \overline{Q}_o(\xi)}{2\xi}, \quad (15)$$

где  $\overline{Q}_o(\xi)$  – относительный расход через дно при отсутствии кольматации всех элементов русла реки.

Значение ( $\overline{Q}_o(\xi)$ ) определяется по положению на графике конкретной кривой для расхода через дно в точке ( $\ln(K) = 0$ ). Начальные значения параметров ( $r_0$ ) и ( $r_1$ ) принимаются равными 0,4, а параметров ( $c_1$ ) и ( $c_2$ ) – равными 1. На значения параметров накладываются естественные ограничения ( $D > 0$ ;  $r_0 > 0$ ;  $r_1 > 0$ ;  $c_1 > 0$ ;  $c_2 > 0$ ).

Расчеты показали достаточно высокую скорость сходимости процесса поиска и дали хорошие приближения эмпирических кривых со значениями критерия ( $\chi^2$ ) порядка ( $10^{-7} - 10^{-8}$ ). На первом этапе подбора значений параметров сделан вывод о приблизительном равенстве значений параметров ( $c_1$ ) и ( $c_2$ ) и их независимости от ширины реки и степени несовершенства реки. В качестве оценки общего параметра ( $c$ ) используется выборочное среднее для индивидуальных оценок параметров ( $c_1$ ) и ( $c_2$ ) по отдельным кривым (значение  $c = 1,06129$  при стандартной ошибке среднего, равной 0,01243).

На втором этапе осуществляется повторная оценка значений параметров ( $D(\xi)$ ), ( $r_0(\xi)$ ) и ( $r_1(\xi)$ ) для ансамблей кривых при фиксированном значении ( $c$ ). В качестве началь-

ных приближений принимаются результаты первого этапа приближений. Окончательные результаты вычислений приведены в таблицах 1–4.

**Краткие выводы.** С целью изучения мало исследованных вопросов взаимосвязи подземных и поверхностных вод (ВППВ) нами привлечен метод электроаналогового моделирования, который позволяет с большей наглядностью и оперативностью решать несложные задачи динамики подземных вод. Эксперименты на моделях позволяют установить степени влияния кольматации русловых отложений и несовершенства реки по вскрытию водоносного пласта на общий приток подземных вод. Установлено, что полная кольматация одного из элементов русла (дна и бортов) оказывает гораздо меньшее влияние на разгрузку подземных вод и параметр ( $\Delta L$ ), чем частичная кольматация всего русла. Привлечение для аппроксимации зависимостей ВППВ программы Origin 40, позволило получить новые эмпирические формулы для различных степеней и схем кольматации поверхностных водоемов и водотоков, которые можно в дальнейшем рекомендовать к использованию при водохозяйственных и фильтрационных расчетах. Моделирование дает возможность расширить теоретические представления о факторах, влияющих на условия ВППВ: изучить структуру поступающего в русло расхода подземных вод, получить расчетные графики и эмпирические зависимости для оценки его составляющих элементов; оценить какая часть русла будет подвержена наибольшей кольматации на реках с различной формой и шириной поперечного сечения и, следовательно, при каком размещении водозабора (относительно реки) эти процессы будут происходить наиболее интенсивно, что очень важно при проектировании береговых инфильтрационных водозаборов и решения вопросов устойчивости водных экосистем.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Калинин М.Ю. Подземные воды и устойчивое развитие. – Минск: ООО «Белсэкс», 1998. – 444 с.

УДК 626.81

**Белорусов А.Н.**

## МЕЛИОРАТИВНОЕ СОСТОЯНИЕ ЗЕМЕЛЬ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ НЕСОВЕРШЕНСТВО МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

На мелиорированных землях Брестского Полесья (более 700 тыс. гектаров) по состоянию на 1 января 1995 года было проложено открытой осушительной сети свыше 40 тыс. километров; построено 2,3 тыс. километров оградительных дамб; 5,5 тыс. километров дорог; 850 мостов; 376 шлюзов; 17,6 тыс. водорегулирующих и дорожных сооружений; 236 насосных станций на польдерных системах и др.

Постоянно наращивались объемы ремонтных и эксплуатационных работ, сооружения мелиоративных систем содержались в исправном состоянии. Причем как по межхозяйственной мелиоративной сети, содержащейся за счет государственного финансирования, так и по внутрихозяйственной – при финансировании эксплуатационных мероприятий из средств хозяйств.

При проведении мелиорации в Полесье не удалось, как ожидалось, обеспечить экологически равновесное сочетание широкомасштабной мелиорации и природной Среды. “Схема комплексного осушения и освоения земель Полесской низ-

менности”, утвержденная правительственными органами республики, обратилась в догму при решении конкретных задач коренного преобразования Полесья, и, отчасти, в рамках данной “Схемы...” принимались неверные решения. Схемой не установлена разумная грань между необходимым и целесообразным, четкая экологическая граница, за которой дальше – “нельзя”.

Сегодня вряд ли кто взялся бы за повсеместное спрямление рек и превращение их в мелиоративные каналы. Даже по главной артерии Полесья – реке Припяти – был принят вариант, в котором предусматривалось значительное спрямление извилистых участков, расширение, углубление и выпрямление ее русла. В результате длина проектной трассы Припяти, только на участке от устья до Пинска, сокращалась, в сравнении с естественной, на 119 километров. Общее протяжение проектных трасс регулируемых рек составляло: Припяти – 620, крупных ее притоков – 3833, притоков Припяти второго и третьего порядка – 20284 километров. Заболоченные и из-

**Белорусов Анатолий Николаевич.** Аспирант каф. сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций. Брестский политехнический институт (БПИ). Беларусь, г. Брест, ул. Московская, 267.